

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta

Sähkötekniikan laitos

Marcin Hurkala

Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten Espoossa 04.05.2009**

Työn valvoja

Professori Matti Lehtonen

Työn ohjaaja

Professori Matti Lehtonen

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Diplomityön tiivistelmä

Tekijä:	Marcin Hurkala
Työn nimi:	Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi
Päivämäärä:	04.05.2009
Sivumäärä:	45
Tiedekunta:	Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta
Laitos:	Sähkötekniikan laitos
Professuuri:	S-18 Sähköverkot ja suurjännitetekniikka
Työn valvoja:	Professori Matti Lehtonen
Työn ohjaaja:	Professori Matti Lehtonen
<p>Työn tavoitteena oli kehittää järjestelmä, jonka avulla on mahdollista analysoida sähkönjakeluverkkojen vikoja automaattisesti. Analysoinnin tuloksena saadaan listaus ja yhteenveto sähköverkossa tapahtuneista vioista vikatyypeineen ja vikojen selviämistietoineen. Tämäntyyppinen automaattinen analysointi antaa mahdollisuuden usean sähköaseman vikojen seuraamisen helposti ja edullisesti. Aikaisemmin käytettyyn käsin analysointiin verrattuna työssä esitetty automaattinen analysointi on huomattavan nopeaa ja analysoinnin tuloksena saatavat tilastot ovat monipuolisia ja helppokäyttöisiä. Laaja tilastointi auttaa tulevaisuuden investointipäätösten suunnittelua.</p> <p>Tässä työssä päädyttiin suosittelemaan järjestelmää, jossa Vamp 255-rele on häiriötallentimena, Netcontrolin gateway datan siirtäjänä releeltä analysointipaikkaan ja Java-ohjelmointikielellä tehty ohjelma automaattisena analysoijana. Releen ja gatewayn yhdistelmä osoittautui edulliseksi ja monipuoliseksi mittausjärjestelmäksi työn tarpeita ajatellen. Tässä työssä toteutettua Java-ohjelmaa testattiin oikealla mittausdatalla, joka on peräisin nykyisestä Topas-mittalaitteeseen pohjautuvasta mittausjärjestelystä.</p> <p>Testaamisen aikana havaittiin, että ohjelma tunnistaa määrällisesti 90-110% manuaaliseen analysointiin verrattuna. Sadan prosentin ylittävä osuus johtuu pääosin siitä, että ohjelma on tarkka myös monimutkaisissa tai epäselvissä tilanteissa. Alle sadan prosentin osuutta on mahdollista edelleen nostaa hienosäätämällä ohjelmaa jokaista sähköasemaa varten erikseen. Työn tuloksena työssä kehitettyä järjestelmää voidaan käyttää ensin testiasennuksessa ja myöhemmin laaja-alaisesti huomattavalla määrällä sähköasemia.</p>	
Avainsanat:	automaatio, sähkönjakelu, vikojen analysointi, vikojen tilastointi

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Abstract of Master's Thesis

Author:	Marcin Hurkala		
Name of the Thesis:	Automatic analysis of faults in electricity distribution networks		
Date:	04.05.2009	Number of Pages:	45
Faculty:	Faculty of electronics, communications and automation		
Department:	Department of electrical engineering		
Professorship:	S-18 Power systems and high voltage engineering		
Supervisor:	Professor Matti Lehtonen Dr.Sc. (Tech)		
Instructor:	Professor Matti Lehtonen Dr.Sc. (Tech)		
<p>The aim for this work was to develop a system which would automatically analyze the faults in an electricity distribution network. The analysis produces a listing of faults that have occurred in the electricity network. This kind of automatic analysis allows the user to compile the fault statistics from multiple substations easily and affordably. The generated statistics are detailed and the whole process takes less manpower to operate than more traditional measuring systems. This kind of wide range analysis should help when making future investment decisions.</p> <p>After researching the different possibilities, it became apparent that the combination of a relay and a gateway formed a cheap and versatile measurement system that could be used in this work. In this system, a Vamp 255 relay is used to measure the disturbances in the network. Netcontrol's gateway then reads the disturbance record from the relay and sends it to a server for further analysis. This file is then finally analyzed with Java-based software. This software is able to analyze a large volume of disturbance files at once, and it produces a table of fault reports based on the analysis. The program has been tested with real data, which was acquired from the currently used Topas-based measurement system.</p> <p>Based on the testing, the program finds almost all the faults found by a human analyzer and in some cases even more. The program was also found to be more accurate than a human analyzer in very complex situations. The success rate for finding faults can be further increased by customizing the setup files for individual substations. As a result of this work, the proposed system can be installed gradually on a number of substations. The first installations are advised to be treated as test installations, and should be monitored closely, to make sure that the system works as intended.</p>			
Keywords: Analysis of faults, fault statistics, automation, power distribution			

Esipuhe

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteeksi Teknillisen korkeakoulun elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunnalle sähkötekniikan laitoksen sähköjärjestelmien tutkimusryhmässä. Diplomityö on osa TEKES-rahoitettua VAHA-tutkimusprojektia.

Kiitokset työni valvojalle ja ohjaajalle professori Matti Lehtoselle mielenkiintoisesta aiheesta ja työn mahdollistamisesta. TkT Pirjo Heineä haluan kiittää hänen avustaan työn oikoluvussa, sekä hänen ehdotuksistaan työn parantamiseksi. Kiitän myös Kainuun Energiaa, jonka kanssa tehty yhteistyö on yksi tämän diplomityön mahdollistaneista kulmakivistä.

Kiitokset myös avopuolisolleni ja perheelleni jatkuvasta pitkään jatkuneesta tuesta.

Espoossa 04.05.2009

Marcin Hurkala

SISÄLLYSLUETTELO

Esipuhe	4
Symboli- ja lyhenneluettelo	7
1 Johdanto	8
2 Aikaisemman tiedon kuvaus	10
2.1 Yleistä.....	10
2.2 Vikojen selviämistavat	10
2.3 Vikatyypit	13
2.3.1 Johdanto	13
2.3.2 Maasulku	14
2.3.3 Kaksivaiheinen oikosulku.....	15
2.3.4 Kaksivaiheinen maaosulku.....	16
2.3.5 Kolmivaiheinen oikosulku.....	17
2.3.6 Kolmivaiheinen maaosulku.....	18
2.3.7 Transientti maasulku.....	19
2.3.8 Jännitekuoppa siirtoverkon kautta	20
2.3.9 Keskeytys siirtoverkossa.....	21
2.3.10 Muuttuneet viat	22
2.3.11 Yhteenveto.....	23
3 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät	24
3.1 Raakadatan mittaus	24
3.2 Datan analysointiin käytettävä ohjelma	26
3.2.1 Yleistä	26
3.2.2 Vikojen tunnistamismenetelmä	28
3.2.3 Katkaisijoiden tunnistamismenetelmä	29
3.2.4 Havahtumisten tunnistamismenetelmä	31
3.2.5 Tapahtumien yhdistäminen loogiseksi kokonaisuuksiksi.....	32
4 Tutkimustulokset	33
5 Luotettavuusanalyysi	35
5.1 Datan tallennuksen ja siirron luotettavuusanalyysi	35

5.2 Datan analysoinnin luotettavuusanalyysi.....	35
6 Suositukset	37
7 Yhteenveto.....	38
Lähdeluettelo	40
Liitteet	43
Liite A Raakadatataulukko.....	43
Liite B Tulostaulukko	44

Symboli- ja lyhenneluettelo

Symboli	Merkitys
I_1, I_2, I_3	Vaihevirrat
K	Katkaisijatieto
U_1, U_2, U_3	Vaihejännitteet
U_{12}, U_{23}, U_{31}	Pääjännitteet
U_0	Nollajännite
U_c	Sopimuksen mukainen jännite
Lyhenne	Merkitys
ajk	aikajälleenkytkentä
haamu	vikaa sisältämätön häiriötallenne
KS	Kainuun Sähköverkko Oy
pjk	pikajälleenkytkentä
TKK	Teknillinen korkeakoulu

1 Johdanto

Nyky-yhteiskunnassa sähkö on olennainen osa jokapäiväistä elämää. Samalla, kun yhteiskuntamme on yhä etenevässä määrin riippuvainen sähköenergiasta, tulisi sähkön toimitusvarmuuden ja laadun olla hyvää. Toimitusvarmuuden osalta pitkät ja lyhyet keskeytykset ovat tärkein ominaisuus. Jännitteen laadun osalta verkossa esiintyvät jännitekuopat ovat yksi kriteereistä. Jännitekuoppa koetaan pienjänniteverkossa esimerkiksi tilanteessa, kun siirtoverkossa tai ko. pienjänniteverkkoa syöttävässä keskijänniteverkossa tapahtuu oikosulkuvika. Jännitekuoppa on standardin [SFS2008, s.12] mukaan: *”jakelujännitteen äkillinen aleneminen välille 1...90% U_c , ja jännitteen palautuminen lyhyen ajan kuluttua. Jännitekuopan kesto on tavallisesti 10 millisekunnista 1 minuuttiin. Jännitekuopan suuruus määritellään vertaamalla jännitteen alinta tehollisarvoa sopimuksen mukaiseen jakelujännitteeseen. Jännitteenmuutoksia, joiden vuoksi jännite ei laske alle 90% U_c , ei lueta jännitekuopiksi”*.

Sähköverkko on laaja järjestelmä, jossa luonnonilmiöt aiheuttavat vikoja ukkosmyrskyjen, lumikuormien ja muiden tapahtumien muodossa. Tämän takia verkon tilaa tulee tarkastella pitkällä aikavälillä tilastollisin menetelmin. Tämän tyyppiseen analyysiin tarvitaan laajamittaista vikojen tilastointia, jotta erilaisten vuosien aiheuttamat satunnaisvaihtelut voitaisiin minimoida. Teknillinen korkeakoulu (TKK) on tehnyt vuodesta 2002 lähtien sähkön laatuun liittyvää yhteistyötä Kainuun Energia Oy:n kanssa. Yhtiön nimi on sittemmin muuttunut Kainuun Sähköverkko Oy:ksi (KS). Yhteistyön yhtenä osana on ollut KS:n kahden keskijänniteverkon häiriöiden tallentaminen ja analysoiminen. Yhteistyön tuloksena on valmistunut lukuisia erikoistöitä ([Gas2003a], [Gas2003b], [Hav2002], [Hur2008], [Lei2005], [Ruo2006] ja [Tur2004]), kaksi diplomityötä ([Kan2007] ja [Par2008]), sekä useita julkaisuja, esimerkiksi [Ren2008], [Hei2004], [Hei2005a] ja [Hei2006].

Sähköverkon häiriöiden tallentamiseen on käytetty Topas-mittalaitetta, joka määritellyn liipaisurajan ylittyessä tai alittuessa tallentaa 15 sekunnin pituisen häiriötallenteen. Häiriötallenteet on luettu modeemilla TKK:lle, jossa ne on analysoitu ja tilastoitu käsin tallenne kerrallaan. Tutkimuksen tuloksena on saatu korkealaatuista tilastoa sähköverkon vioista, aiheutuneista keskeytyksistä ja jännitekuopista. Tutkimus ei ole kuitenkaan taloudellisesti järkevästi laajennettavissa Topas-mittalaitetta käyttäen, koska se on ollut käsityötä ja aikaa vievää. Topas-mittalaite on lisäksi kallis.

Tämän diplomityön tavoitteena on ensinnäkin löytää kustannustehokas vaihtoehto Topas-mittalaitteelle. Toiseksi tutkimuksen tavoitteena on automatisoida mahdollisimman pitkälle häiriötallenteiden analysointia ja taulukoimista. Taulukoinnin tavoitteena on tehdä tulevasta datasta samanmuotoista kuin edellisien vuosien tutkimusdata. Tällöin kaikkea dataa voisi jatkokäsitellä koneellisesti yhdellä ohjelmalla. Näiden kahden tavoitteen toteutuessa tutkimusta voisi laajentaa kattamaan useampia sähköasemia, ja tilastollista dataa saataisiin enemmän ilman kulujen merkittävää nousua. Datan suurempi määrä avaa tietä laajemmalle tilastolliselle analyysille. Tämä palvelisi esim. kohdentaessa tulevaisuuden verkkoinvestointeja erityisesti sinne, missä vikoja esiintyy eniten.

Tutkittavat vaihtoehdot Topas-mittalaitteelle rajataan Vamp:in valmistamaan Vamp 255-releeseen ja Netcontrol:in valmistamaan gateway-laitteeseen. Automatisoinnin osalta tutkimusta rajataan siten, että automatisoinnin ei oleteta pystyvän analysoimaan kaikkia vikoja. Sen sijaan automatisoinnin tavoitteena on pystyä analysoimaan suurin osa vioista, jolloin tutkijalle jää käsin analysoitaviksi vain erikoisimmat ja pysyvät häiriöt.

2 Aikaisemman tiedon kuvaus

2.1 Yleistä

Tutkimuksessa mukana olevat 110/20 kV sähköasemat syöttävät maaseutumaista avojohtoverkkoa. Tämän tyyppisessä sähköverkossa on Suomessa perinteisesti käytetty vikatapahtumien selvittämisessä jälleenkytkentäautomatiikkaa. Järjestelmän hyöty tulee pitkien keskeytyksien vähentämisestä, sillä suurin osa vioista on ohimeneviä, ja ne voidaan poistaa jälleenkytkentäautomatiikalla.

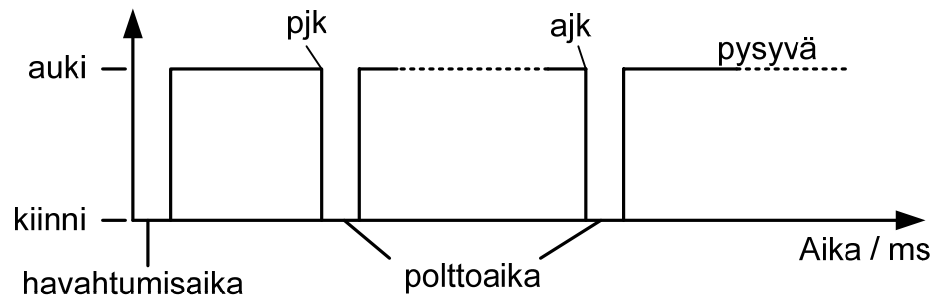
Vian selviämistavasta voidaan osittain päätellä vian vakavuusaste. Viat luokitellaankin järjestelmässämme vikatyypin lisäksi sen mukaan, minkä katkaisijatoiminnon ne ovat vaatineet poistuaakseen. Vaihtoehtoja ovat seuraavat: ei katkaisijatoimintoa, pikajälleenkytkentä (pjk), aikajälleenkytkentä (ajk), ja pysyvä. Nämä vaihtoehdot selitetään tarkemmin luvussa 2.2.

Tässä työssä viat luokitellaan vian selviämistavan lisäksi vikatyypin mukaan. Tarkasteltavat vikatyypit ovat: Maasulku, kaksi- ja kolmivaiheinen oikosulku, kaksi- ja kolmivaiheinen maaosulku, transientti maasulku, jännitekuoppa siirtoverkon kautta ja keskeytys siirtoverkossa. Näistä kerrotaan lisää luvussa 2.3.

2.2 Vikojen selviämistavat

Keskijänniteverkon suojaustoiminnot on keskitetty perinteisesti 110/20 kV:n sähköasemille. Kaikilla sähköasemalta lähtevillä keskijännitelähdöillä on oma oiko- ja maasulkusuojauksensa. [Lak2009, s.176] Suojauksen toimiessa viallisen lähdön katkaisija avautuu ja tekee viallisen lähdön jännitteettömäksi. Katkaisijatoimintoa tarvitaan tyypillisesti myös lähdön varsilla sijaitsevien

ylijännitesuojina toimivien kipinäväliä toimiessa. Vika-automaation perusperiaatteet selviävät kuvasta 1.



Kuva 1 - Katkaisijatoiminnot

Kun vika havaitaan, alkaa havahtumisaika. Tämä on aika, jona aikana rele on havainnut vian ja valmistautuu avaamaan katkaisijan, mikäli vika ei mene ohi havahtumisaajan aikana itsestään. Jos vika jatkuu, katkaisija avautuu tehden vikaantuneen lähdön jännitteettömäksi lyhyeksi aikaa, yleensä alle sekunniksi. Jännitteettömän ajan jälkeen tapahtuu pjk, jolla tarkoitetaan katkaisijan sulkeutumista lyhyen jännitteettömän ajan jälkeen. Jos vika uusiutuu, seuraa poltto-aika, jonka tarkoituksena on nimen mukaisesti polttaa johdolla oleva oksa tai vastaava häiriön aiheuttaja pois. Mikäli vika ei lähde polttoajan aikana pois, seuraa uusi, pidempi, jännitteetön aika. Tällä kertaa lähtöä pidetään jännitteettömänä yleensä noin minuutin verran. Tämän toisen jännitteettömän ajan jälkeen seuraa ajk. Ajk:lla tarkoitetaan katkaisijan sulkeutumista pitkähkön jännitteettömän ajan kuluttua. Mikäli vika uusiutuu ajk:n jälkeen, katkaisija avataan uudestaan. Ensimmäisen ajk:n jälkeen mahdollisesti tuleva jännitteettömän ajan pituus vaihtelee, sillä tässä vaiheessa katkaisijaa saatetaan jo ohjata käsin. Ensimmäistä ajk:ta seuraavia katkaisijoiden sulkemisia kutsutaan myös ajk:iksi.

Vioista suurin osa poistuu itsestään joko jo ennen kun jälleenkytkentä-automatiikka avaa katkaisijan tai pj:ta edeltävänä jännitteettömänä aikana. Aj:n tarkoituksena on vähentää asiakkaiden kokemaa keskeytysaikaa, sillä suurin osa vioista, jotka eivät poistu pj:ta edeltävänä jännitteettömänä aikana, poistuvat aj:n jännitteettömänä aikana. Mikäli vikaa ei saada poistettua jälleenkytkentäautomatiikalla, sitä voidaan epäillä pysyväksi viaksi. TKK:lla tehdyssä manuaalisessa analysoinnissa vikaa ei luokitella kuitenkaan pysyväksi ennen kun KS:ltä on saatu varmistus asiaan.

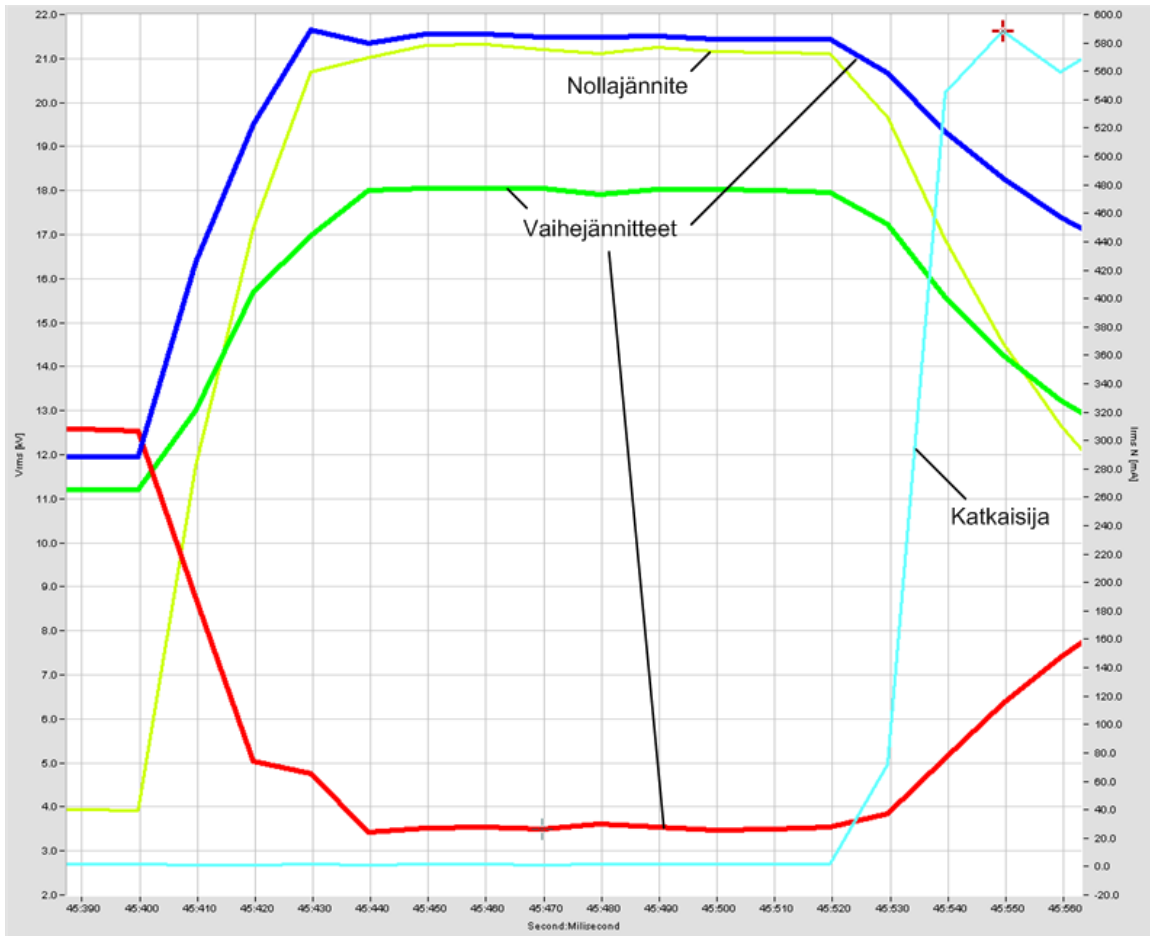
2.3 Vikatyypit

2.3.1 Johdanto

Jotta häiriötallenteita voitaisiin analysoida koneellisesti, on ensin määriteltävä, mitä kaikkia vikoja voi keskijänniteverkossa esiintyä. Tässä kappaleessa esitellään tällä hetkellä analysoinnissa käytettävät vikatyypit, joita tullaan käyttämään koneellisen analyysin kehittämisen pohjana. Se, miten näistä määritelmistä päästään koneen ymmärtämään logiikkaan, esitetään kappaleessa 3.

Vikatyypit on vian selviämistavan ohella toinen kriteeri, jonka mukaan viat luokitellaan järjestelmässämme. Erilaisia vikatyyppejä ovat seuraavat: transientti maasulku, maasulku, 2- ja 3-vaiheinen oikosulku, 2- ja 3-vaiheinen maaosulku, jännitekuoppa ja keskeytys siirtoverkossa. Tutkimuksen mittaukset ovat 110/20 kV sähköasemalta 20 kV:n puolelta.

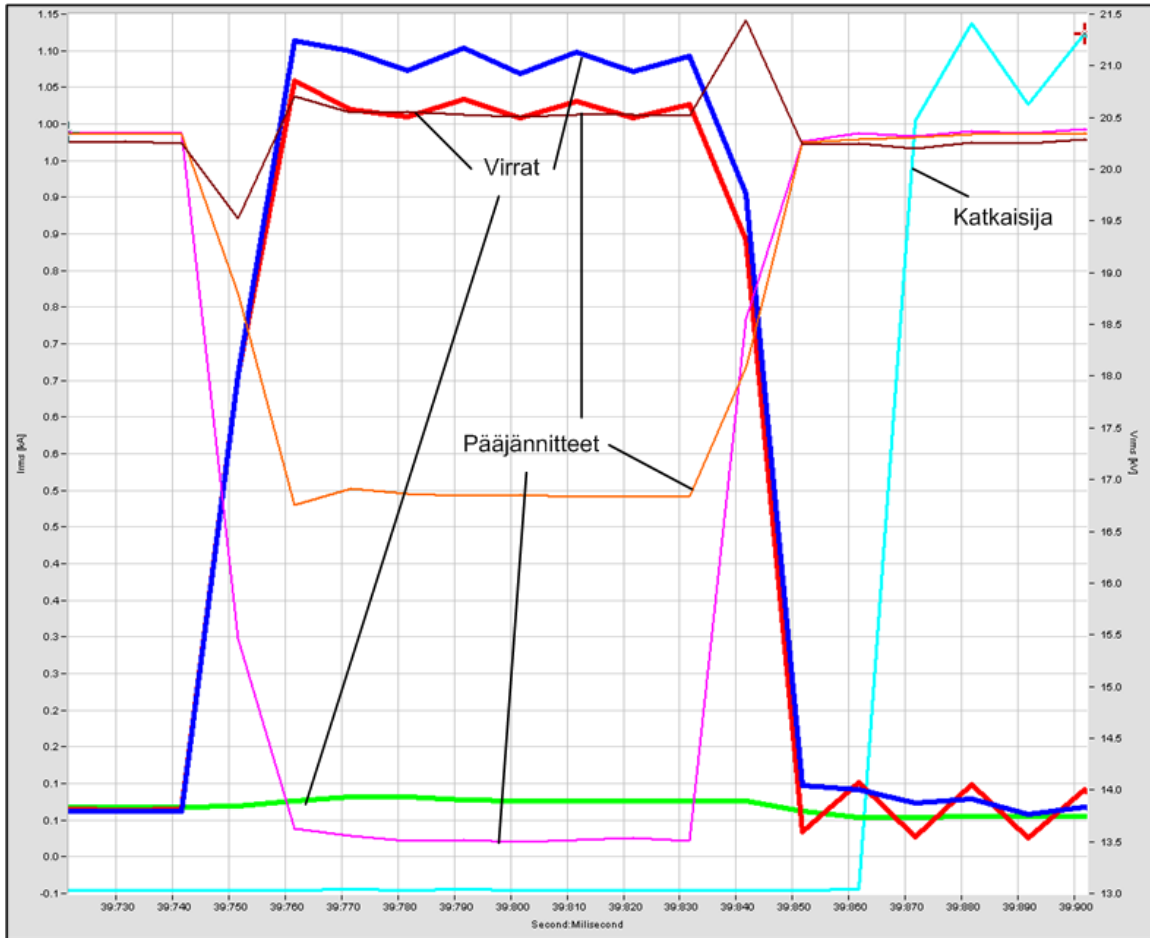
2.3.2 Maasulku



Kuva 2 - Maasulku

Kuvassa 2 on esitetty maasulku. Tämän vikatyypin tunnistaa siitä, että yksi vaihejännitteistä romahtaa samaan aikaan, kun kaksi muuta vaihejännitettä nousevat. Vaihejännitteet kasvavat maksimissaan noin pääjännitteiden suuruiseksi ja nollajännite nousee korkeintaan noin vaihejännitteen suuruiseksi [Bol2000, s.180–181]. Viassa esiintyy myös katkaisijatoiminto eli katkaisijan avautuminen, jonka tunnistaa siitä, että katkaisijatieto (K) muuttuu nolasta poikkeavaksi. Maasulun aiheuttaa vika, jossa jollain vaiheella on maakosketus. Myös kipinävälin normaali suojaustoiminta aiheuttaa maasulun, joka vaatii katkaisijatoiminnon poistuaakseen.

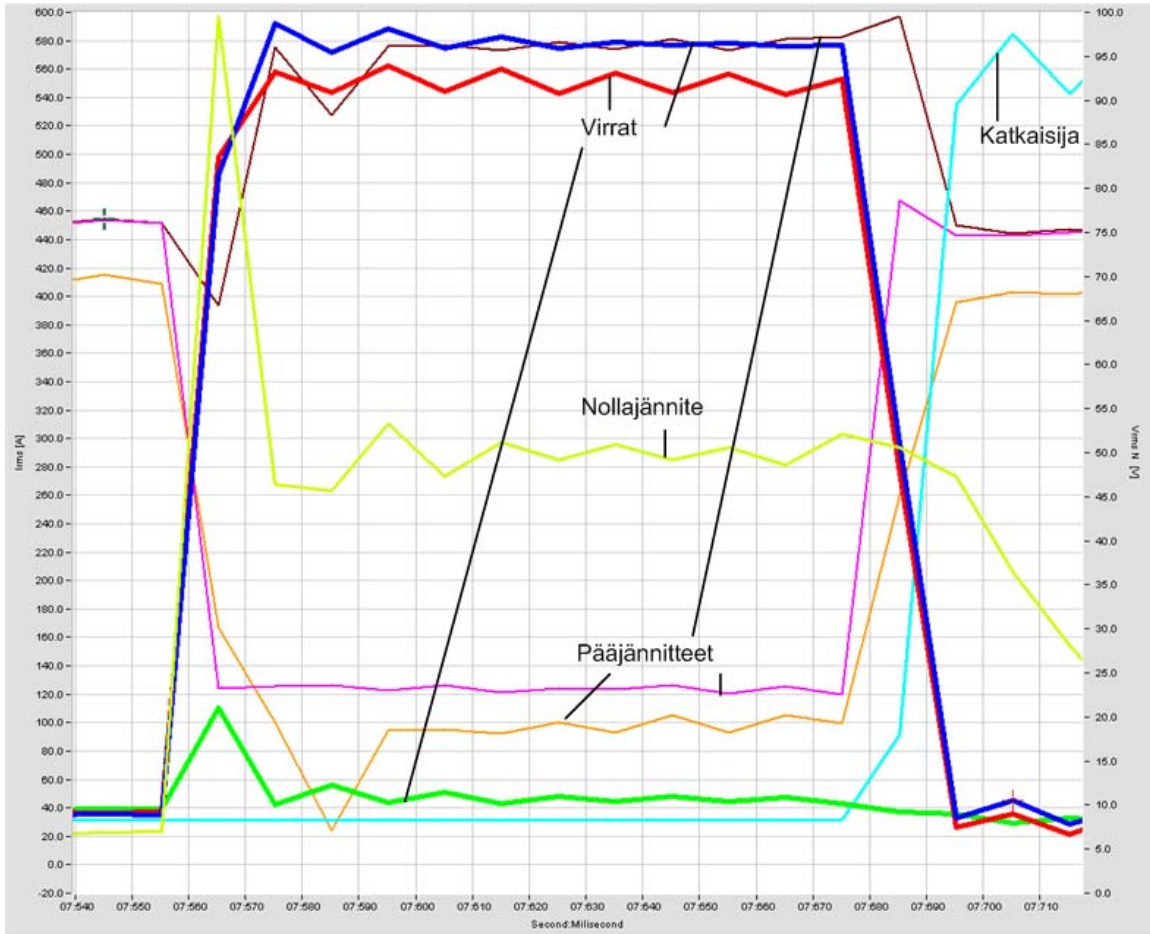
2.3.3 Kaksivaiheinen oikosulku



Kuva 3 – Kaksivaiheinen oikosulku

Kaksivaiheisen oikosulun tunnuspiirteet selviävät yllä olevasta kuvasta 3. Vian aikana kaksi vaihevirtaa nousevat suureksi samalla, kun kolmas pysyy ennallaan. Pääjännitteiden käyttäytymiseen vaikuttaa vikaresistanssi. Teorian mukaan vastuksettomassa kaksivaiheisessa oikosulussa yksi pääjännite romahtaa nolnaan samalla, kun kaksi muuta pienentyvät arvoon 87% normaalista [Bol2000, s.182–183]. Jos tapaukseen liittyy vikaresistanssia, yksi pääjännitteistä notkahtaa merkittävämmiin ja kahdesta muusta toinen tyypillisesti notkahtaa vain vähän ja toinen voi jopa nousta hieman. Nollajännite pysyy vikaa edeltäneellä tasolla. Kuten kuvasta näkyy, tässäkin tapauksessa vika päättyy katkaisijatoimintaan.

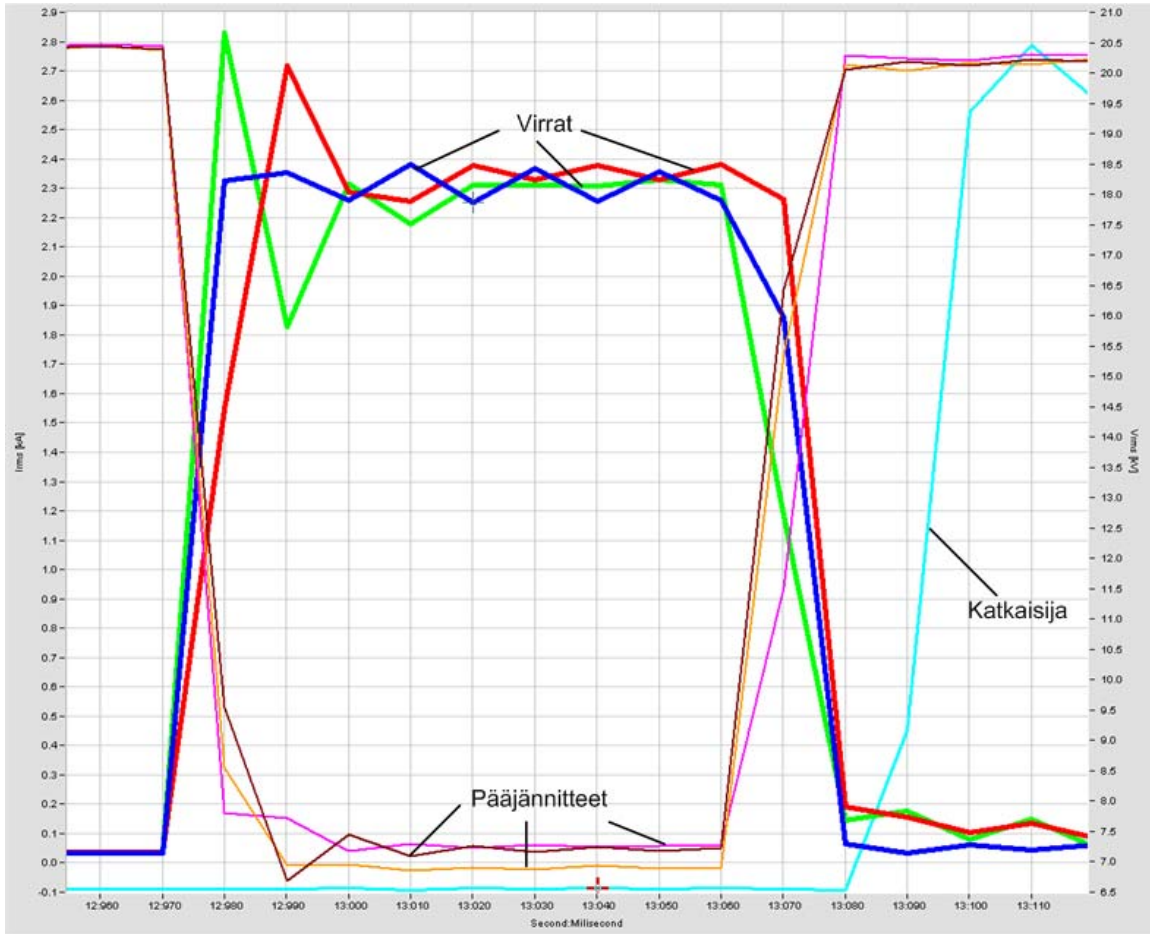
2.3.4 Kaksivaiheinen maaikosulku



Kuva 4 – Kaksivaiheinen maaikosulku

Kaksivaiheinen maaikosulku, joka on esitetty kuvassa 4, on melko samanlainen kun kaksivaiheinen oikosulku: kaksi vaihevirtaa nousevat ja pääjännitteet muuttuvat. Pääjännitteissä havaitaan tyypillisesti yhden pääjännitteen suurempi notkahdus kahden muun notkahtaessa vähemmän. Myös pientä yhden pääjännitteen nousua voidaan havaita. Merkittävä tunnusmerkki kaksivaiheisessa maaikosulussa on nollajännite, joka voi nousta maksimissaan 50 prosenttiin [Bol2000, s.184–187]. Kuten aikaisemmissa vioissa, myös kaksivaiheinen maaikosulku johtaa katkaisijan avautumiseen.

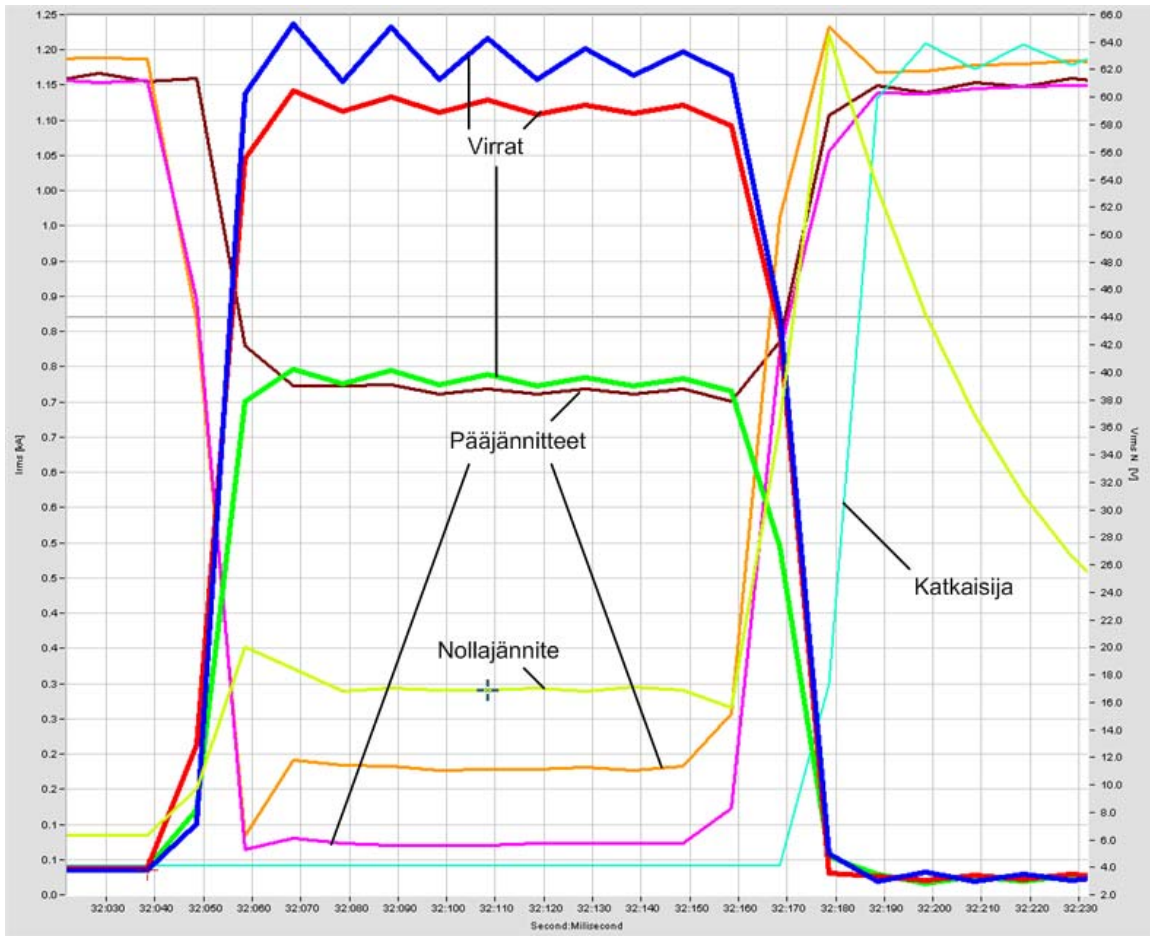
2.3.5 Kolmivaiheinen oikosulku



Kuva 5 – Kolmivaiheinen oikosulku

Kuvan 5 kolmivaiheinen oikosulun tunnistaa siitä, että kaikki kolme vaihevirtaa nousevat merkittävästi samalla, kun kaikki pääjännitteet romahtavat. Nollajännite pysyy tässä viassa alkuperäisellä tasolla. Tämäkin vika päättyy katkaisijan avautumiseen, joka erottaa vikaantuneen lähdön muusta verkosta.

2.3.6 Kolmivaiheinen maaikosulku

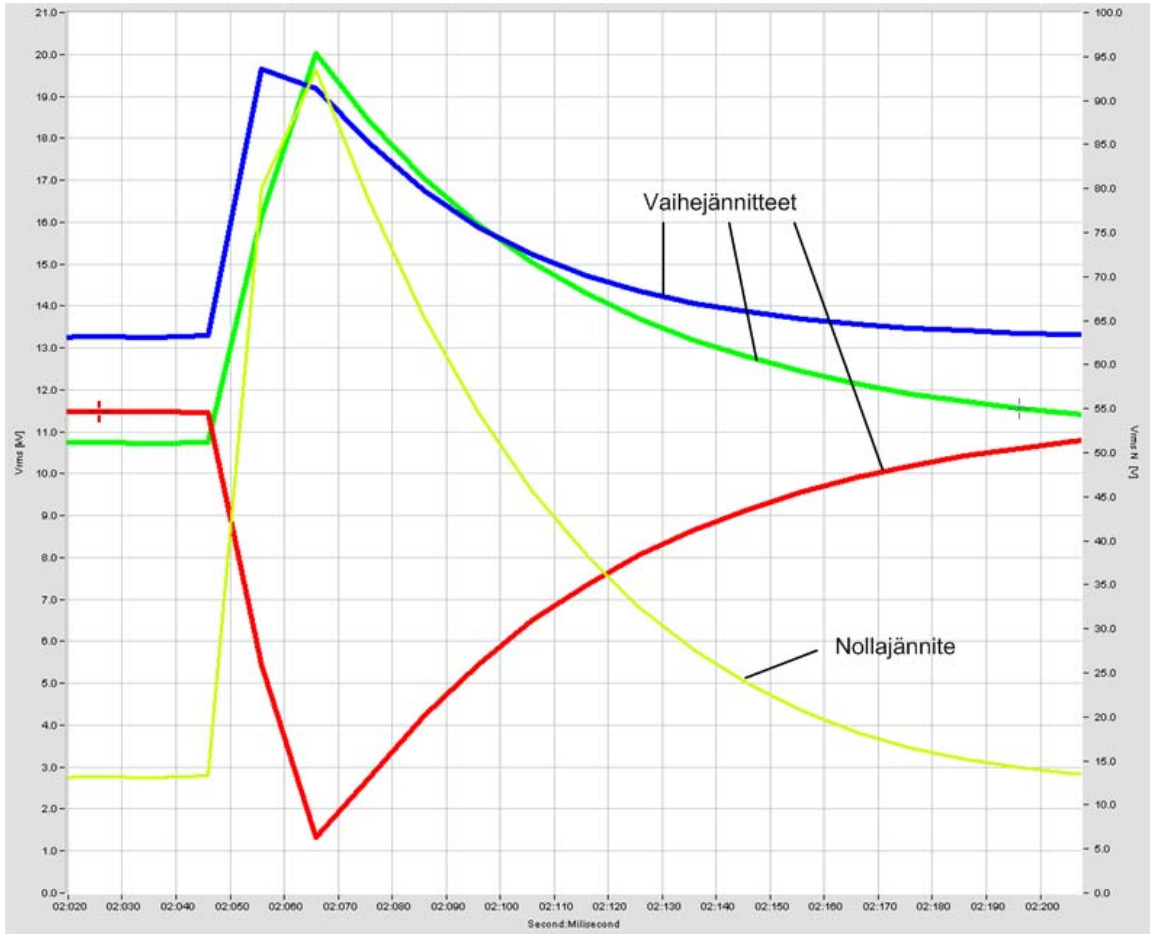


Kuva 6 – Kolmivaiheinen maaikosulku

Kolmivaiheinen maaikosulku (kuva 6) muistuttaa kolmivaiheista oikosulkua siinä, että siinäkin kaikki kolme vaihevirtaa nousevat merkittävästi.

Kolmivaiheisessa maaikosulussa nollajännite kuitenkin nousee hieman vian aikana. Lisäksi pääjännitteet eivät laske symmetrisesti kuten kolmivaiheisessa oikosulussa. Katkaisijan avautuu.

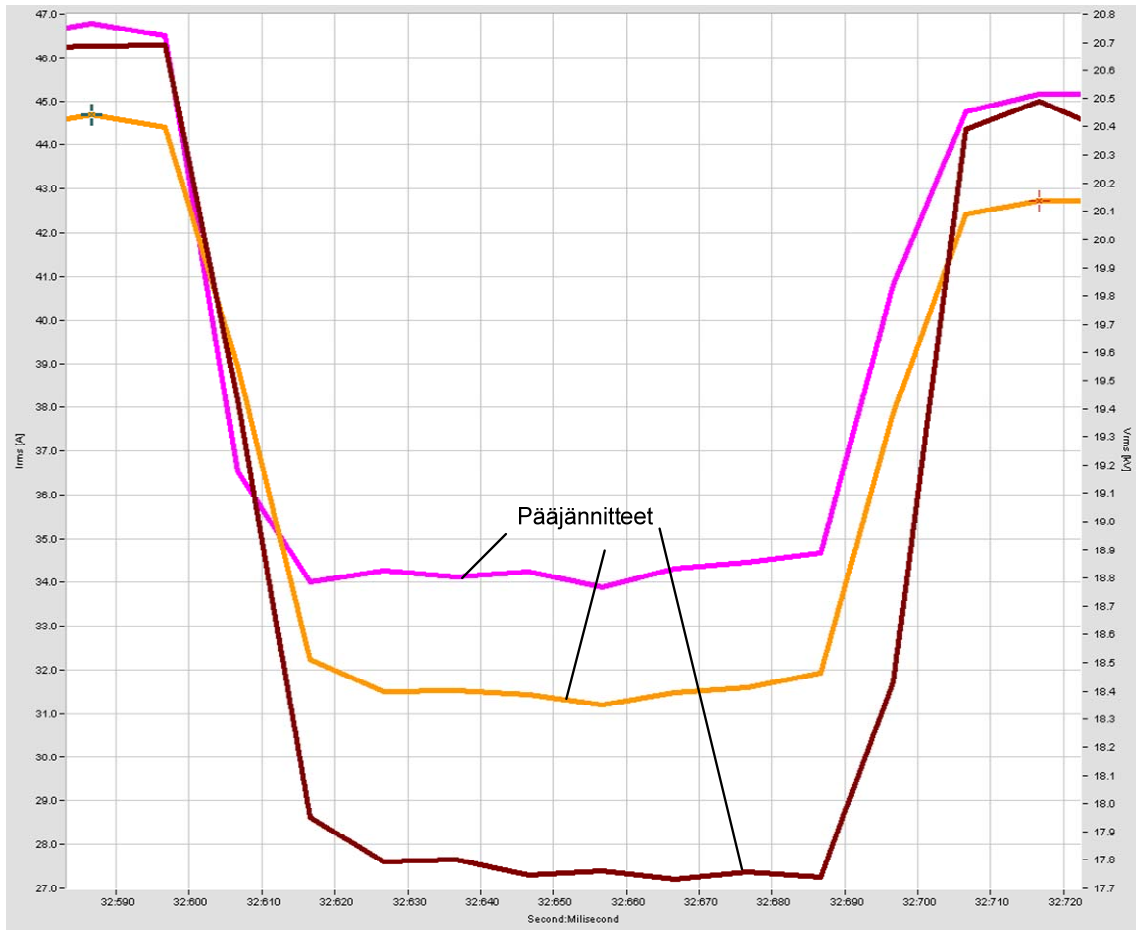
2.3.7 Transientti maasulku



Kuva 7 – Transientti maasulku

Transientin maasulun, joka on esitetty kuvassa 7, tunnistaa siitä, että nollajännite nousee samalla, kun yksi vaihejännitteistä pienenee ja kaksi muuta vaihejännitettä nousevat. Vian erottaa maasulusta se, että tämä vika menee itsestään ohi eikä siihen liity katkaisijatoimintoa. Nollajännite ei välttämättä nouse täyteen arvoonsa noin vaihejännitteen suuruiseksi.

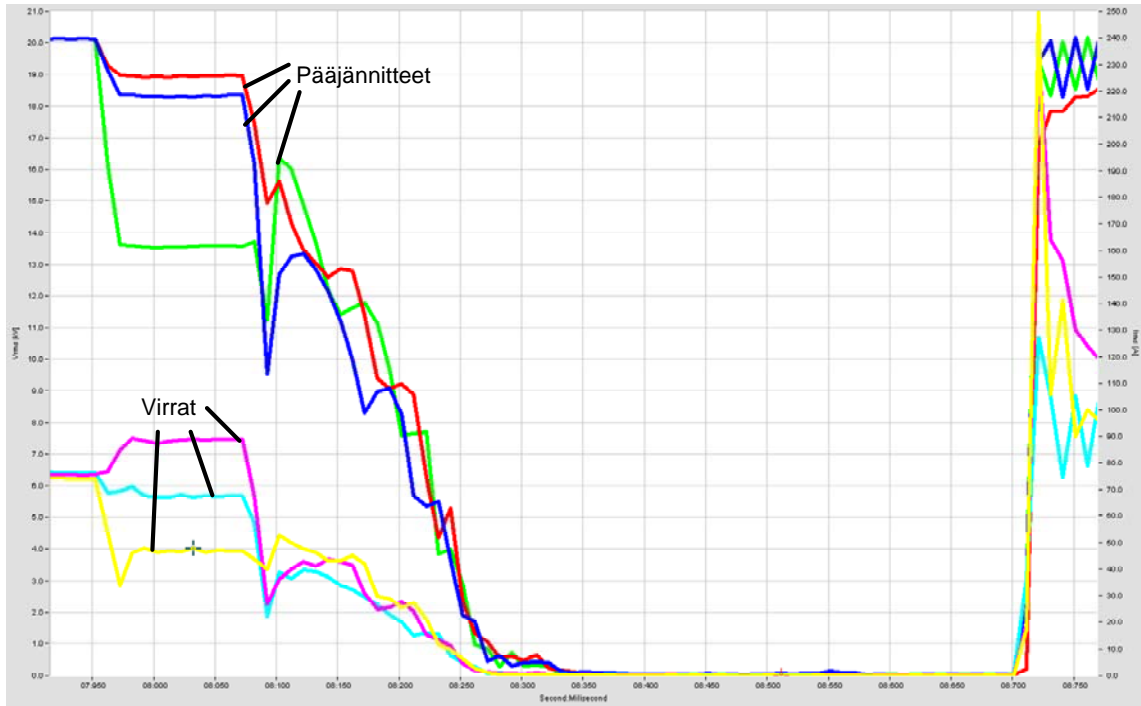
2.3.8 Jännitekuoppa siirtoverkon kautta



Kuva 8 – Jännitekuoppa siirtoverkon kautta

Kaikki keskijänniteverkon jännitekuopat eivät johdu keskijänniteverkossa tapahtuneista vioista. Mikäli siirtoverkon puolella tapahtuu jännitekuopan aiheuttava vika [Hei2005a, s.21], niin se näkyy myös keskijänniteverkon puolella. Kuvassa 8 on esitetty kolmivaiheisen siirtoverkon jännitekuopan heijastuminen kolmivaiheisena jännitekuoppana keskijänniteverkkoon. Mikäli siirtoverkon jännitekuoppa ei ole symmetrinen, se voi muuntajan kytkentäryhmästä riippuen näkyä eri tavoin keskijänniteverkossa, kuitenkin aina ainoastaan jännitekuoppana. Keskijänniteverkon oikosulku- tai maaosulkuviasta tämän jännitekuopan erottaa vaihevirtojen pysyminen normaalilla tasolla, sekä katkaisijatoiminnon puute.

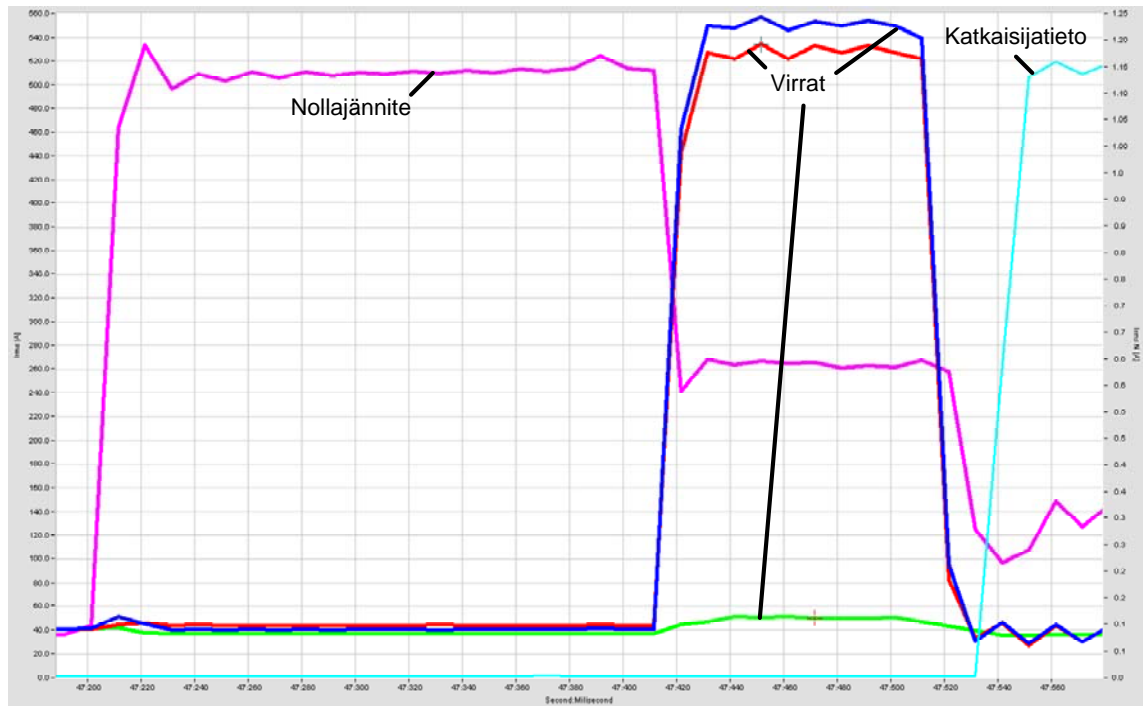
2.3.9 Keskeytys siirtoverkossa



Kuva 9 – Keskeytys siirtoverkossa

Siirtoverkon rakenteessa on tyypillisesti renkaita ja säteittäisiä haaroja. Siirtoverkkojen perusrunkoa käytetään tyypillisesti renkaana. Tässä työssä tarkasteltavat sähköasemat liittyvät siirtoverkkoon kuitenkin säteittäisen haaran kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että vian sattuessa kyseisellä siirtoverkon haaralla koko sähköasema kokee keskeytyksen. Kuvassa 9 on esitetty siirtoverkon vika, joka näkyy aluksi keskijänniteverkon puolella jännitekuoppa, mutta katkaisijan avautuessa siirtoverkon puolella koko sähköasema jää ilman sähköä ja sen seurauksena keskijänniteverkon jännitteet ja virrat romahtavat nollaan.

2.3.10 Muuttuneet viat



Kuva 10 – 2-vaiheiseksi maasulukuksi muuttunut maasulku

Kuvassa 10 on esitetty vika, joka on alkanut maasulkuna, mutta joka ennen katkaisijatoimintaa muuttuu kaksivaiheiseksi maaosulukuksi. Käsien analysoitaessa tällainen tilanne on helppo analysoida, mutta ohjelman kannalta tilanne näyttää siltä, että ensin oli maasulku, sen loppumisen jälkeen oli kaksivaiheinen maaosulku ja tämän jälkeen katkaisijatoiminto. Ohjelmassa onkin näitä tapauksia varten sisäänrakennettu yhdistämislogiikka, joka tunnistaa tällaiset peräkkäiset viat muuttuviksi vioiksi. Loppuraportissa tämä vika luokitellaan maasulusta kaksivaiheiseksi maaosulukuksi muuttuneeksi vioksi.

2.3.11 Yhteenveto

Kahdeksan edellä mainitun vian lisäksi pitää mainita yleisin mittaustallenne, ns. *haamu*. Kyseessä on virheellinen taltiointi eikä siihen siis liity mitään sähköverkon vikaa tai häiriötä eikä sitä siksi tilastoida vuositaulukoihin.

Taulukossa 1 on esitetty kaikki edellisissä kappaleissa ja tässä työssä esitetyt sähköverkon viat kootusti, jotta niiden väliset erot olisi helpompi havaita.

Taulukossa esiintyvä logiikka kuvaa tilanteita samaan tapaan kuin ohjelma näkee ne. Häiriön tunnistaminen perustuu suureiden muutokseen normaalitilanteeseen verrattuna. Muutosten tulee olla riittävän suuret, jotta vähäiset (luonnolliset) suureiden arvojen vaihtelut eivät aiheuttaisi virhetunnistusta. Virran notkahtamiselle voidaan asettaa raja-arvoksi esimerkiksi 25 %, jolloin pieniä virtojen heilahteluja ei vielä tulkita virtojen laskuksi eikä tallennetta keskeytykseksi.

Taulukko 1 – Yhteenveto vikojen luokitteluista

Vika	Virtoja noussut	Nollajännite	Pääjännitteet	Virrat laskeneet	Katkaisija
Maasulku	0	Noussut	Normaalit	Ei	Aukeaa
2-v oikosulku	2	Normaali	Laskeneet	Ei	Aukeaa
2-v maaosulku	2	Noussut	Laskeneet	Ei	Aukeaa
3-v oikosulku	3	Normaali	Laskeneet	Ei	Aukeaa
3-v maaosulku	3	Noussut	Laskeneet	Ei	Aukeaa
Transientti maasulku	0	Noussut	Normaalit	Ei	Kiinni
Jännitekuoppa	0	Normaali	Laskeneet	Ei	Kiinni
Keskeytys	0	Normaali	Laskeneet	Kyllä	Kiinni
Haamu	0	Normaali	Normaalit	Ei	Kiinni

3 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

3.1 Raakadatan mittaus

Raakadatan mittaukseen käytetään Vamp 255-relettä. Releen asetukset on säädetty niin, että aseteltujen liipaisurajojen ylittyessä tai alittuessa, rele tallentaa muistiinsa viiden sekunnin häiriötallenteen. Näistä viidestä sekunnista yksi sekunti edeltää liipaisuhetkeä, jolloin siitä voidaan päätellä verkon tila ennen vikaa. Releen muisti on rajoitettu ja siihen mahtuu vain kaksi viiden sekunnin tallennetta kerrallaan. Tämä rajoitus voidaan kuitenkin minimoida lukemalla dataa releestä jatkuvasti. Jatkuvaan lukemiseen käytetään tässä tutkimuksessa Netcontrolin gateway-laitetta.

Gateway-laite lukee dataa releeltä viiden sekunnin välein, jolloin datan häviämisen todennäköisyys on pieni. Lisätietoja tutkimuksen luotettavuuden maksimoimiseen tehdystä työstä löytyy kappaleesta 5. Gateway-laitteen releestä lukema data siirretään TKK:lle Internetin yli. TKK:lla on käytössä tässä työssä kehitetty tietokoneohjelma, joka analysoi tallenteet automaattisesti. Ohjelman käyttö vähentää vikojen analysointiin kuluvaan aikaa perinteiseen käsin analysointiin verrattuna.

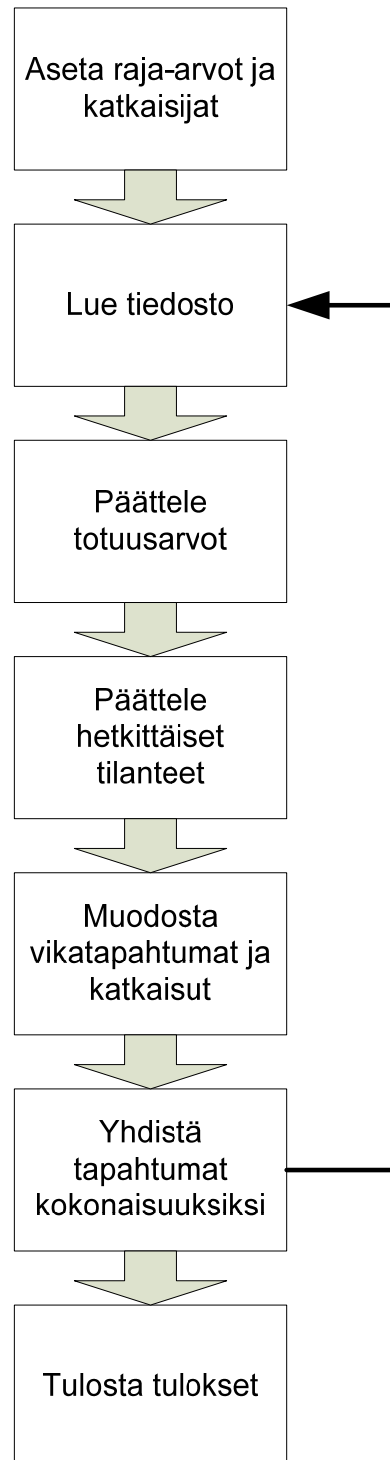
Taulukko 2 esittää osan raakadatataulukosta, joka muodostetaan releeltä luetun häiriötallenteen perusteella. Muodostettava taulukko on muodostettu sarkaimella erotetuista arvoista, joten se voidaan kopioida suoraan Exceliin ja saada taulukko 2:n kaltainen tulos. Taulukosta huomataan, että mitta-arvoissa on käytetty desimaalierottimena pistettä, ja että kaikki mitta-arvot on ilmoitettu perusyksiköissä. Taulukon "I0" vastaa katkaisijatieta K , joka tuodaan releelle virtatietona. Kokonainen versio tästä esimerkkitaulukosta löytyy liitteistä taulukosta A1.

Taulukko 2 – Esimerkki raakadatasta

Päivämäärä Kellonaika	U1	U12	I1	U0	I0
17.01.2009 15:07:55.052	11645.9	20491	74.2778	3.09438	0.003215
17.01.2009 15:07:55.062	11642.3	20474.2	74.2272	3.08664	0.003022
17.01.2009 15:07:55.072	11643.3	20483.1	74.1847	3.0833	0.003232
17.01.2009 15:07:55.082	11639	20468.9	74.1928	3.08799	0.003187
17.01.2009 15:07:55.092	11644.7	20485.3	74.235	3.09438	0.003374
17.01.2009 15:07:55.102	11639.6	20471	74.2784	3.08807	0.00289
17.01.2009 15:07:55.112	11645.8	20488.4	74.2477	3.08382	0.00326

3.2 *Datan analysointiin käytettävä ohjelma*

3.2.1 Yleistä



Kuva 11 – Ohjelman yleisrakenne

Työssä kehitetyn Java-pohjaisen ohjelman perusrakenne on esitetty kuvassa 11 . Kuvasta ilmenee, että ohjelmalle täytyy ensin antaa raja-arvot ja katkaisijatiedot, joihin ohjelma vertaa tiedostojen sisältämiä mitta-arvoja. Sovellus lukee häiriötallenteita kovalevyltä ja raakadatan luettuaan se pyrkii loogisesti pääättelemään raja-arvojen ylityskohdat.

Kun ohjelma tietää, missä kohdin yksittäiset raja-arvot ovat ylittyneet, se siirtyy pääättelemään, mikä tilanne on kullakin ajanhetkellä. Ohjelman vikojen tunnistusalgoritmi perustuu puumaiseen rakenteeseen, jonka tarkoituksena on erotella viat ja haamut toisistaan mahdollisimman pienellä määrällä operaatioita. Jotta voitaisiin tunnistaa poikkeavuudet verkon normaalista tilasta, eli häiriöt, pitää vertailuarvojen olla määriteltynä. Osa näistä vertailuarvoista otetaan kunkin häiriötallenteen alusta, sillä nämä arvot on mitattu sekunti ennen liipaisun aiheuttaneen tapahtuman alkua. Ainoat vertailuarvot, jotka ovat ennalta määrättyjä, ovat katkaisijatieto ja nollajännite. Näistä katkaisijatiedon vertailuarvo on nolla, sillä mikäli katkaisija on auki, tilanne ei ole normaali. Nollajännitteen vertailuarvo määritellään sähköasemakohtaisesti. Toinen osa vertailuarvoista koostuu ennalta määritellyistä rajoista jännitteiden ja virtojen muutoksille, joiden perusteella ohjelma voi päätellä, minkä tyyppisestä viasta on kyse.

Seuraavaksi ohjelma pyrkii muodostamaan yksittäisistä pisteistä kokonaisia vika- ja katkaisijatapahtumia. Muodostaminen perustuu siihen, että jos vika- tai katkaisijatapahtumaa seuraa toinen tapahtuma, kuuluu se todennäköisesti edelliseen tapahtumaan. Yksityiskohtaisempi selostus tästä algoritmista on kohdassa 3.2.5.

Kun kaikki häiriötiedostot on käsitelty, ohjelma tulostaa tiedostoon vikojen tunnistetiedot sisältävän taulukon. Taulukko on muotoiltu niin, että sen voi kopioida edelleen Exceliin. Käyttäjä voi asetuksista valita, että ohjelma tulostaa

taulukkoon myös tiedot niistä häiriötallenteista, joihin ohjelman mielestä ei ole tallentunut keskijänniteverkon häiriötä. Näin tehden käyttäjä voi halutessaan helpommin tarkistaa ohjelman analyysin onnistumisen.

Vian tunnistetiedot sisältävät vian aikaleiman, lyhyen kuvauksen viasta, vian selviämistavasta, mahdollisen kommentin, sekä vian aikana verkossa esiintyneiden jännitteiden ja virtojen suuruudet. Tunnistetiedot tallennetaan tabulaattorilla erotellussa muodossa taulukkoon, joten ne voidaan siitä kopioida suoraan Exceliin. Muoto on sama kun edellisinä vuosina hyväksi ja riittäväksi todettu raporttimuoto, ja sitä voidaan analysoida edelleen tutuilla työkaluilla.

3.2.2 Vikojen tunnistamismenetelmä

Algoritmi tarkastelee aluksi koko häiriötallenteen virta- ja jännitearvoja ja määrittelee, missä kohdin häiriöraja ylittyy kussakin vaiheessa. Tämä häiriöraja on määritelty erikseen sekä ylös- että alaspäin ja se määritellään suhteessa vikaa edeltävään tilanteeseen. Algoritmi tutkii myös, missä kohdin katkaisijatiedon arvo poikkeaa nollasta.

Tarkastelun tehtyään algoritmi pyrkii päättämään loogisesti, mikä vika on kyseessä. Päättely alkaa virtojen tarkastelulla. Jos virrat ovat nousseet kahdessa tai kolmessa vaiheessa, on kyseessä vastaavasti kaksi- tai kolmivaiheinen vika. Maasulun ja oikosulun erottaa toisistaan nollajännitteen nousu maasulun tapauksessa. Jos virrat eivät ole nousseet, tarkastellaan, onko nollajännite noussut. Mikäli nollajännite on noussut ilman, että vaihevirrat ovat nousseet, on kyseessä maasulku. Koska tarkastelu tehdään tässä vaiheessa yhdelle ajanhetkelle, ei transienttia maasulkua voi vielä erottaa maasulusta.

Mikäli nollajännitekin on raja-arvojen sisällä, tarkastellaan seuraavaksi, ovatko pääjännitteet laskeneet. Jos ne ovat, tarkastellaan, ovatko virratkin laskeneet.

Mikäli sekä pääjännitteet että vaihevirratt ovat laskeneet raja-arvojen alle, on kyseessä siirtoverkon kautta tullut keskeytys. Mikäli virrat eivät ole laskeneet samalla, kun pääjännitteet ovat, on kyseessä siirtoverkon kautta tullut kuoppa. Mikäli virrat, pääjännitteet ja nollajännite ovat kaikki normaalilla tasolla, on kyseessä haamu, eli tallenteeseen ei liity sähköverkon vikaa tai häiriötä.

3.2.3 Katkaisijoiden tunnistamismenetelmä

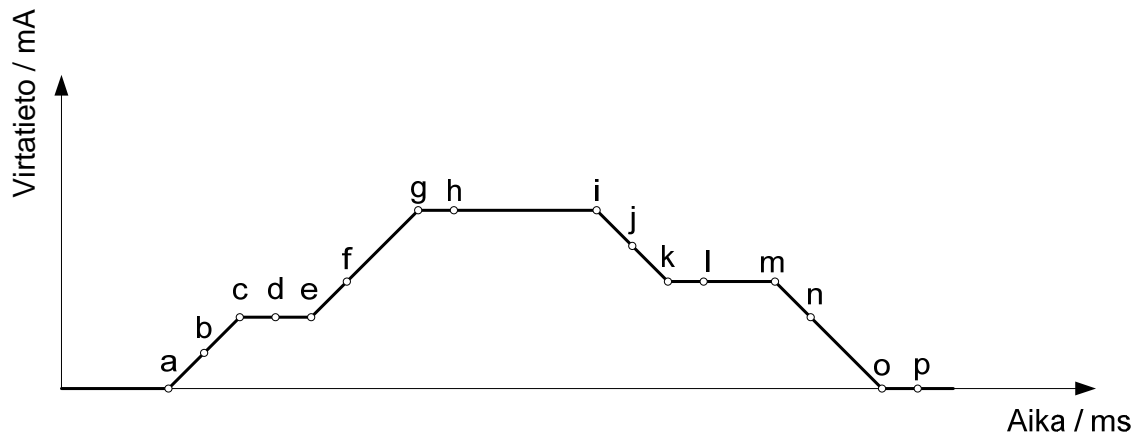
Sähköasemilla on useita keskijännitelähtöjä ja mittausjärjestelyn tulee tunnistaa, millä lähdöllä katkaisijatoiminnan vaatinut vika tapahtui. Tässä järjestelmässä katkaisijoitten tilatietoja käsitellään yhdellä virtakanavalla. Jotta lähdöt voidaan tunnistaa, on tähän yksittäiseen mittakanavan tietoon luotu yksilöidyt virtaportaatt. Tällöin kutakin porrasta vastaa tietyn lähdön katkaisija-auki – asentotieto. Virtaportaatt on luotu vakiojännitelähteeseen rinnankytketyillä resistansseilla. Taulukossa 3 on esitetty esimerkki, miten virtatiedot voi esimerkiksi asettaa. Katkaisijoiden niminä on tässä yhteydessä käytetty TKK:n maisemallisia kiintopisteitä.

Taulukko 3 – Esimerkki katkaisijatiedoista

Katkaisija	Virtatieto (mA)
Päärakennus	100
Sähkö	200
Kone	300
Dipoli	400

Luvun 2.1 mukaan katkaisijatoiminnot jaetaan pjk:ihin ja ajk:ihin. Tavallisesti ensimmäinen katkaisijatoiminto vian jälkeen on pjk ja sen jälkeiset ovat ajk:ita, mutta automaattisen ohjelman kannalta tämänkaltainen luokittelu on ongelmallista. Ongelma johtuu siitä, että vian jälkeen saattaa tulla suoraan ajk. Tämän ongelman kiertämiseksi ohjelman logiikka määrittelee

katkaisijatoimintojen tyypit niiden keston mukaan. Mikäli katkaisijatoiminto kestää alle sekunnin, luokitellaan se pj:ksi, ja mikäli se kestää yli sekunnin, niin se luokitellaan aj:ksi. Luokittelun pohjana on käytetty soveltaen Energiatieteiden tutkimuskeskuksen teosta ”Keskeytystilasto-ohje 2006” [Kes2007, s.18].



Kuva 12 – Katkaisutapahtuman määrittelyyn vaikuttavat pisteet

Katkaisijan avautumisen, sulkeutumisen ja nimen selvittämiseksi käytetyn algoritmin selittämiseksi esitän tässä kuvan 12. Kuvaan on merkitty pienillä palloilla ja kirjaimilla ne kohdat, joita käytetään katkaisijatahtuman määrittelyyn. Piste *a* on katkaisijatahtuman alkupiste eikä ohjelma tee vielä tässä kohdassa mitään. Virtatiedon ollessa nolla on tilanne edelleen normaali. Kohdassa *b* ohjelma huomaa, että tilanne on muuttunut nolasta poikkeavaksi ja merkitsee edellisen kohdan (piste *a*) katkaisijatahtuman alkukohtaksi sekä katkaisijan avautumistapahtuman alkaneeksi. Pisteessä *c* virtatieto on suurempi kuin kohdassa *b*, mutta koska pisteessä *b* katkaisijatahtuma merkittiin alkaneeksi, ohjelma olettaa, että tässä pisteessä katkaisijan avautumistapahtuma jatkuu. Pisteessä *d* ohjelma huomaa, että virtatieto on sama kun kohdassa *c*. Koska avautumistapahtuma on merkitty alkaneeksi, ohjelma tulkitsee tämän uuden tasapainotilan avautumistapahtuman loppuhetkeksi. Tässä kohdassa ohjelma luo uuden katkaisijatahtuman, jonka alku on pisteessä *a* ja jonka

korkeus on pisteiden a ja c korkeusero. Pisteissä $e-h$ ohjelma toimii täysin analogisesti kun pisteissä $a-d$, erona on vain katkaisijan virtatiedon suuruus.

Piste i on ensimmäisenä avautuneen katkaisijan sulkeutumistapahtuman alkupiste, mutta kuten avautumistapahtumien alkupisteissä, ohjelma ei tee tässä vielä mitään. Kohdassa j ohjelma huomaa, että virtatieto on pienempi kuin kohdassa i , joten se pääättelee, että kyseessä on sulkeutumistapahtuman alku ja merkitsee tämän tapahtuman alkaneeksi kohdasta i , sekä merkitsee sulkeutumistapahtuman alkaneeksi. Kohdassa k virtatieto pienenee entisestään, mutta koska sulkeutumistapahtuma on kesken, tässä pisteessä ei tehdä mitään. Kohdassa l ohjelma huomaa, että virtatieto on sama kun edellisessä pisteessä k , ja että sulkeutumistapahtuma on kesken. Tapahtuman perusteella ohjelma pääättelee, että katkaisija, jonka virtatieto on kohtien i ja k erotus, on sulkeutunut kohdassa k . Päättelyn perusteella ohjelma etsii aikaisemmin avautuneen katkaisijan, jonka virtatieto on erotuksen suuruinen, ja merkitsee tämän katkaisijan loppuhetkeksi ajankohdan k . Pisteet $m-p$ ovat ohjelman kannalta täysin analogisia pisteiden $i-l$ kanssa.

3.2.4 Havahtumisten tunnistamismenetelmä

Sen lisäksi, että mittausjärjestelmä tallentaa lähtökohtaisia katkaisijataapahtumia, se tallentaa joillain sähköasemilla muistiinsa myös havahtumistapahtumia. Havahtumistapahtuma tarkoittaa sitä, että asemalla oleva rele huomaa vian, muttei reagoi siihen ennen releen havahtumisajan loppua. Mikäli vika on transientti ja menee itsestään ohi releen havahtumisajan puitteissa, rele ei avaa katkaisijaa. Tavallisesti tässä tilanteessa emme voisi yhdistää vikaa tiettyyn lähtöön. Tämän ongelman ratkaisemiseksi voidaan tiettyjen lähtöjen maasulkureleiden havahtuminen asettaa näkymään virtatietona katkaisijatietokanavassa. Näin voidaan esimerkiksi erottaa eri tavoilla suojatuilla lähdöillä tapahtuneet transientit maasulut toisistaan.

3.2.5 Tapahtumien yhdistäminen loogiseksi kokonaisuuksiksi

Kun kaikki halutut tiedostot on analysoitu, ohjelma on muodostanut edellisen kahden osion mukaan niistä vika- ja katkaisijatapahtumia. Koska katkaisijatapahtumat liittyvät normaalitilanteessa vikatapahtumiin ja toisaalta yhteen vikakokonaisuuteen voi kuulua useampia vika- ja/tai katkaisijatapahtumia, ohjelma lopuksi yhdistää yksittäiset tapahtumat vikakokonaisuuksiksi.

Yhdistäminen aloitetaan siten, että otetaan ensimmäinen vikatapahtuma, katsotaan, milloin se loppuu ja tämän jälkeen tarkastellaan, alkaako jokin vika- tai katkaisijatapahtuma samoihin aikoihin, kun ensimmäinen vikatapahtuma loppuu. Jos sopiva tapahtuma loppuu, niin se lisätään ensimmäisen tapahtuman jatkoksi ja kokonaisuuden päättymishetkeksi muutetaan viimeisimmän tapahtuman loppumisajankohta. Lisäämistä jatketaan niin kauan, kun lisättäviä tapahtumia löydetään. Kun sopivia tapahtumia ei enää löydy, kirjoitetaan vikakokonaisuus muistiin ja aloitetaan uusi kokonaisuus uusimmasta käsittelemättömästä viasta. Poikkeuksen yhdistämiseen muodostavat siirtoverkon kautta tulleet viat. Koska nämä eivät voi luonteensa puolesta liittyä keskijänniteverkon vikoihin, ei niitä yhdistetä myöskään ohjelmallisesti.

4 Tutkimustulokset

Ohjelman testaamiseen on käytetty Topas-mittalaitteista saatua dataa, joka on muunnettu diplomityön yhteydessä kehitetyn ohjelman ymmärtämään muotoon. Käytetty data on peräisin kahdelta sähköasemalta joulukuun 2008 alusta maaliskuun 2009 puoleenväliin. Asemien erityispiirteistä on ollut suurta hyötyä ohjelman kehittämisessä, sillä toisen aseman ollessa maasta erotettu se käyttäytyi maasulussa eri tavalla kuin toinen testaamisdatanlähteenä toiminut, tähtipisteestään kompensoitu, sähköasema.

Testaamisen loppupäätelmänä on se, että ohjelma tunnistaa lähes kaikki viat manuaalisen analysoinnin tapaan. Eroja syntyy raja-arvoparametreja muuttelemalla. Esimerkiksi jos nollajännitetunnistus on liian tiukalla, voi ohjelma tulkita tilanteita liian helposti maasuluiksi. Raja-arvoparametrien asemakohtainen asettelu onkin ohjelman käytön suurimpia haasteita. Ohjelman testaamisen aikana hyväksi havaituilla arvoilla ohjelma on pystynyt tunnistamaan kaikki vikatilanteet. Ohjelman ero ihmiseen tulee ilmi siinä, että ihminen ei välttämättä tunnista tietyn muotoisia siirtoverkon kautta tulleita häiriöitä suoraan jännitekuopiksi.

Seuraavan sivun taulukossa 4 esitetään esimerkkinä osa ohjelman tulostamasta taulukosta. Taulukosta nähdään, että ohjelma tulostaa vian alun päivämäärän, kellonajan, lyhyen kuvauksen viasta, sekä vian aikana olleen nollajännitteen, pääjännitteet ja vaihevirratt, sekä vian ja katkaisijatoiminnon keston. Taulukosta ei sen sijaan näy, että ohjelma tulostaa myös esim. lähdön, jolla vika tapahtui, sekä pjk:iden ja ajk:iden määrän. Laajempi versio tästä esimerkistä löytyy liitteistä taulukosta B1.

Taulukko 4 – Esimerkki tulostaulukosta

Date	Time	fault rms-recording	U0	12	23	31	1	2	3	Fault	Hs
18.1.09	11:58:31	2-p sc + hs + 2-p sc + td	2	17	18	21	506	471	74	180	510
25.1.09	12:27:01	Transient earth fault	104	20	20	20	68	57	64	240	
25.2.09	08:04:48	Transient earth fault	109	20	20	20	75	70	74	1510	
12.3.09	08:15:26	Earth fault + hs	101	20	20	20	67	72	73	360	830
16.3.09	06:42:04	Transient earth fault	40	20	20	20	62	60	59	80	
16.3.09	06:42:05	Transient earth fault	91	20	20	20	68	64	57	250	
24.3.09	08:05:58	Transmission	2	17	19	20	62	69	80	720	
24.3.09	10:22:09	Transmission	3	20	20	20	61	59	61	139	
5.4.09	10:45:38	Earth fault + hs	103	20	20	20	44	47	50	390	830
5.4.09	11:37:14	Earth fault + hs	104	20	20	20	44	48	51	360	560

5 Luotettavuusanalyysi

5.1 Datan tallennuksen ja siirron luotettavuusanalyysi

Koska Vamp 255-releen muistiin mahtuu vain kaksi viiden sekunnin pituista häiriötallennetta, laitteen muisti voisi teoriassa täyttyä kymmenen sekunnin välein. Tilanne ei kuitenkaan ole näin synkkä, sillä Topas-mittausten perusteella on erittäin epätodennäköistä, että kaksi liipaisun aiheuttavaa tapahtumaa sattuisi kymmenenkään sekunnin välein. Tämän pienen mahdollisuuden minimoimiseksi mittaussjärjestely on hoidettu siten, että Netcontrolin gateway-laite kyselee Vamp 255-releeltä uusia häiriötallenteita viiden sekunnin välein. Mikäli gateway löytää uuden tallenteen, se lataa sen palvelimelle ja käy heti sen jälkeen tarkistamassa onko releelle tullut sillä aikaa uusia häiriötallenteita. Jos uusia tallenteita ei ole tullut, tyhjennetään laitteen muisti, jotta ei luettaisi turhaan vanhoja tapahtumia uudestaan. Mikäli Vamp 255-relettä luettaessa rele tallentaa uuden häiriötallenteen muistiinsa ennen kun luku suoritetaan loppuun, releen lukeminen epäonnistuu. Tämän rajoitteen ei pitäisi näkyä tutkimuksen tutkimuksissa, sillä releen luku on nopeampaa kuin sen tallentamisnopeus. Yhteenvetona voidaan sanoa, että todennäköisyys datan menettämiselle on erittäin pieni, mutta suurempi kuin nolla.

5.2 Datan analysoinnin luotettavuusanalyysi

Datan analysointia on simuloitu Topas-mittalaitteista saadulla testidatalla. Näiden simulointien tuloksena voidaan päätellä, että ohjelma tunnistaa lähes kaikki vikatapaukset samoin kun ihminen. Raja-arvoparametrien virheellisyys näkyy luonnollisesti heti ohjelman toiminnassa. Tämän takia onkin jokaisen uuden asennuksen jälkeen seurattava hetken aikaa käsin ohjelman toimintaa. Lisäksi pieniä eroja tulee lähinnä pienivolttisien transienttien maasulkujen kohdalla maasta erotetussa verkossa, sillä nämä maasulut eivät nosta nollajännitettä yli raja-arvon, mutta toisaalta ne aiheuttavat maasta erotetulle verkolle ominaista

heiluntaa maasulun jälkeen. Tämä heilunta näyttää ohjelman kannalta samalta kun siirtoverkon kautta tullut jännitekuoppa. Ohjelmaan on sisäänrakennettu suodatin, joka osaa poistaa nämä maasulun jälkeiset heilunnat. Mikäli maasulkua ei kuitenkaan pystytä tunnistamaan, ohjelma tulkitsee sitä seuraavan heilunnan jännitekuopaksi.

6 Suositukset

Simulointitulosten perusteella voidaan päätellä, että ohjelma toimii hyvin. Ennen ohjelman laajamittaista käyttöä on kuitenkin suotavaa, että mittausjärjestely asennettaisiin muutamalle sähköasemalle testimielessä. Tämänkaltaisen testijärjestely antaisi mahdollisuuden varmistaa, ettei ohjelmassa ole tehty virheoletuksia ja ettei siinä ole jäljellä piileviä ohjelmointivirheitä.

Koemittausjärjestelyn aikana analysointi suoritettaisiin sekä käsin että ohjelmallisesti koko datamäärälle, jotta ohjelman ulostuloa voidaan verrata asiantuntijan analyysiin.

Kun ohjelman ja mittausjärjestelyn toimivuus on todettu hyväksi edellä mainitulla pioneerikokeella, kannattanee järjestelmä asentaa mahdollisimman monelle sähköasemalle. Syynä tähän on järjestelmän halpa hinta yhdistettynä sen mahdollistamaan laaja-alaiseen analyysiin. Tämä auttaa kohdentamaan verkon investointeja niihin verkon osiin, joissa niistä on eniten hyötyä. Järjestelmän toimivuuden osoittamisen jälkeenkin uusia asennuksia on syytä seurata alkuvaiheessa, sillä eri asemien väliset erot vikojen päättelyyn käytetyissä raja-arvoissa voivat erota toisistaan. Raja-arvoille voidaan kuitenkin käyttää lähtöarvoja, jotka perustuvat edellisistä asennuksista saatuihin kokemuksiin.

7 Yhteenveto

Odotukset sähkön laadulle kasvavat. Lisäksi sähkövoimajärjestelmiin liittyy kehittämisvelvollisuus [Säh1995, §16]. Nämä molemmat tarkoittavat käytännön tasolla investointeja. Sähköverkon investoinnit ovat taloudellisesti merkittäviä ja aikaa vieviä ja ne onkin toteutettava porrastetusti suunniteltuina.

Investointisuunnitelman tueksi vaaditaan perinpohjaista analysointia, jonka työkaluna tässä työssä kehitetty sähköasematason automaattinen vikojen tilastointijärjestelmä palvelee. Tämän työn tavoitteena oli kehittää järjestelmä, jonka avulla on mahdollista analysoida sähköjakeluverkkojen vikoja automaattisesti. Työssä toteutettu automaattinen analysointi mahdollistaa usean sähköaseman vikojen seuraamisen helposti ja edullisesti. Lisäksi luodut tilastot ovat monipuolisia ja helppokäyttöisiä. Analysoinnin tuloksena saadaan listaus ja yhteenveto sähköverkon vioista, niiden vikatyypeistä ja niiden selviämistavoista.

Tässä työssä päädyttiin suosittelemaan järjestelmää, jossa Vamp 255-rele on häiriötallentimena, Netcontrolin gateway datan siirtäjänä releeltä analysointipaikkaan ja Java-ohjelmointikielellä tehty ohjelma automaattisena analysoijana. Releen ja gatewayn yhdistelmä osoittautui edulliseksi ja monipuoliseksi mittausjärjestelmäksi työn tarpeita ajatellen. Rele-gateway -yhdistelmän pitäisi pystyä tallentamaan muistiinsa kaikki sähköverkossa tapahtuvat viat. Tämä päättely perustuu siihen, että releeseen mahtuu kaksi viiden sekunnin pituista tallennetta ja gateway lukee releeltä tietoja viiden sekunnin välein. On kuitenkin teoreettisesti mahdollista menettää dataa, mikäli uusia häiriötallenteita tallentuu jatkuvasti releen muistiin siten, että gateway ei ehdi lukemaan uutta dataa tallennuksien välissä. Valmistajan mukaan releestä voi kuitenkin lukea dataa nopeammin kuin se sitä tallentaa muistiinsa, joten datan katoamisen todennäköisyyden pitäisi olla erittäin pieni.

Tässä työssä kehitettyä Java-ohjelmaa testattiin oikealla mittausdatalla, joka on peräisin nykyisestä Topas-mittalaitteeseen pohjautuvasta mittausjärjestelystä. Testaamisen aikana havaittiin, että ohjelma tunnistaa määrällisesti 90–110% manuaaliseen analysointiin verrattuna. Sadan prosentin ylittävä osuus johtuu pääosin siitä, että ohjelma on tarkka myös monimutkaisissa tai epäselvissä tilanteissa. Alle sadan prosentin osumatarkkuutta on mahdollista edelleen nostaa hienosäätämällä ohjelmaa jokaista sähköasemaa varten erikseen.

Työn loppusuosituksina on järjestelmän asentaminen testiasennuksena yhdelle tai kahdelle asemalle. Tästä testiasennuksesta saatua raakadataa tulisi analysoida automaattisesti ja käsin, jotta saataisiin varmistettua, että järjestelmä toimii oikein. Kun järjestelmän oikeellisuus on varmistettu kenttäkokein, järjestelmä voidaan asentaa vapaasti valitulle määrälle sähköasemia, ja järjestelmästä saadaan suurin hyöty.

Lähdeluettelo

[Bol2000] Bollen, M.H.J. 2000. Understanding power quality problems : voltage sags and interruptions. New York. IEEE. 543 s. 0-7803-4713-7.

[Gas2003a] Gasch E. 2003. Measured Voltage Sags in a Substation during summer 2003. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 20 s.

[Gas2003b] Gasch E. 2003. Measured 2-phase faults in a substation during summer 2003. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 7 s.

[Hav2002] Haveri P. 2002. Tutkimus Espoon Sähkön Gesterbyn sähköasemalla ja Graninge Kainuun Kestilän sähköasemalla esiintyneistä jännitekuopista. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 15 s.

[Hei2004] Heine, Pirjo, Pohjanheimo, Pasi, Lehtonen, Matti, and Oikarinen, Arvo, Measured Sagged Voltages Caused by Identified Power System Faults, ICHQP 2004, 2004 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Lake Placid, New York, U.S.A., September 12-15, 2004, ICHQP Paper #027, 5 p.

[Hei2005a] Heine, Pirjo, Voltage sags in power distribution networks. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 68 s.

[Hei2005b] Heine, Pirjo, Turunen, Jukka, Lehtonen, Matti, and Oikarinen, Arvo, Measured Faults during Lightning Storms, 2005 IEEE PowerTech'2005, St. Petersburg, Russia, June, 27-30, 2005, Paper 72, 5 p. ISBN 5-93208-034-0.

[Hei2006] Heine, Pirjo, Lehtonen, Matti, and Oikarinen Arvo, Medium Voltage Faults during a Winter Period of Crown Snow, The 5th International Conference

of Electric Power Quality and Supply Reliability, Viimsi, Estonia, August 23-25 2006, pp. 113 - 116 (ISBN 9985-59-647-1)

[Hur2008] Hurkala M. 2008. Kainuun Energian Kestilän ja Kuhmon sähköasemien vika-analyysi vuosilta 2002-2008. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 28 s.

[Kan2007] Kananen R. 2007. Kannattavuusselvitys eri vaihtoehtoista vähentää lyhyitä sähkökatkoksia Kainuun Energian sähköverkkotoiminnassa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 100 s. Saatavilla:
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2007/urn007829.pdf>

[Kes2007] Energiateollisuus ry. 2007. Keskeytystilasto-ohje 2006. Verkkojulkaisu. 30s. [Viitattu 10.03.2009]. Saatavissa:
<http://www.energia.fi/fi/tilastot/keskeytystilastot/keskeytystilasto-ohjev3.1.pdf> tai
<http://tinyurl.com/bdn2s5> .

[Lak2009] Lakervi E, Partanen J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. 2. painos. Helsinki. Hakapaino. 295 s. ISBN 978-951-672-359-7

[Lei2005] Leinonen O. 2005. Measured Voltage Sags at Graninge Kainuu's Substations Kuhmo and Kestilä during the Summer 2005. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 38 s.

[Par2008] Parviainen M. 2008. Keskijännitteisessä avojohtoverkossa tapahtuneiden vikojen riippuvuus ympäristöolosuhteista. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkot ja suurjännitetekniikka. Espoo. 87 s. Saatavissa:
<http://lib.tkk.fi/Dipl/2008/urn010281.pdf>.

[Ren2008] Renner, Herwig (Graz University of Technology, Austria), Heine, Pirjo (Helsinki University of Technology), Schmaranz Robert (KELAG Netz GmbH, Austria): Structural Differences of European Rural Networks and their Influence on Supply Reliability, PQ2008, The 6th International Conference on Power Quality and System Reliability, Pärnu, Estonia, August 27-29 2008, pp. 93-98, IEEE Catalog Number: CFP0852E-CDR, ISBN: 978-1-4244-2501-3

[Ruo2006] Ruohosenmaa H. 2006. Kainuun Energian Kuhmon ja Kestilän sähköasemilla esiintyneet sähköverkon viat. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 38 s.

[Säh1995] Sähkömarkkinalaki 17.3.1995. Viitattu 09.04.09. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19950386> .

[SFS2008] SFS-EN 50160. 2008. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet. 3. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. 35 s.

[Tur2004] Turunen J. 2004. Tutkimus Graninge Kainuun Kuhmon ja Kestilän sähköasemilla esiintyneistä sähköverkon vioista. Erikoistyö. Teknillinen korkeakoulu. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Sähköverkkolaboratorio. Espoo. 38 s.

Liitteet

Liite A Raakadatataulukko

Alla olevassa Taulukossa A1 on kappaleessa 3 esitetty esimerkki raakadatasta kokonaisuudessaan. Se on tässä jaettu kahdelle riville sen pituuden takia, mutta alkuperäisessä tekstitiedostossa kaikki mitta-arvot ovat peräkkäin yhdellä rivillä.

Taulukko A1 - Raakadatataulukko

Päivämäärä	Kellonaika	U1	U2	U3	U12	U23	U31
17.01.2009	15:07:55.052	11645.9	12206.2	11630.6	20491	20493.7	20460
17.01.2009	15:07:55.062	11642.3	12171.2	11643.7	20474.2	20473.3	20453.1
17.01.2009	15:07:55.072	11643.3	12201.2	11628.4	20483.1	20487.7	20456.6
17.01.2009	15:07:55.082	11639	12170.5	11638.4	20468.9	20466.1	20448
17.01.2009	15:07:55.092	11644.7	12201.6	11631.8	20485.3	20490.2	20460.8
17.01.2009	15:07:55.102	11639.6	12170.1	11645.6	20471	20473.4	20453.7
17.01.2009	15:07:55.112	11645.8	12203.7	11630.1	20488.4	20491.5	20458.3
I1	I2	I3	U0	I0			
74.2778	75.0085	75.4006	3.09438	0.003215			
74.2272	74.9282	75.2913	3.08664	0.003022			
74.1847	74.9132	75.3344	3.0833	0.003232			
74.1928	74.9025	75.2451	3.08799	0.003187			
74.235	74.9909	75.4104	3.09438	0.003374			
74.2784	75.035	75.3898	3.08807	0.00289			
74.2477	74.9631	75.4005	3.08382	0.00326			

Liite B Tulostaulukko

Taulukossa B1 on esitetty esimerkki tulostaulukosta. Koska taulukko on pitkä, se jakautuu tässä dokumentissa useaan osaan. Alkuperäisessä taulukossa yksittäinen tapahtuma on aina yhdellä rivillä.

Taulukko B1 – Esimerkki tulostaulukosta

Date	Time	rms-recording	Breaker	Fault clearing type
fault				
18.1.09	11:58:31,260361	2-p sc + hs + 2-p sc + td	Veneheitto	td
25.1.09	12:27:01,640365	Transient earth fault		
25.2.09	08:04:48,459886	Transient earth fault		
12.3.09	08:15:26,033826	Earth fault + hs	Järvikylä	hs
16.3.09	06:42:04,054793	Transient earth fault		
16.3.09	06:42:05,422366	Transient earth fault		
24.3.09	08:05:58.525	Transmission		
24.3.09	10:22:09.732	Transmission		
5.4.09	10:45:38,577425	Earth fault + hs	Järvikylä	hs
5.4.09	11:37:14,518544	Earth fault + hs	Vorna	hs

		U ₀ [V]	UU _{sag} [%]		
More information		Turha ajk	Muuttunut vika tyyppi Ei pj:ta		
			12	23	31
		2	86	89	103
		6	104	99	99
Erittäin pitkäkestoinen vika!		6	109	100	100
		1	101	99	99
		6	40	99	99
		6	91	99	97
		7	2	84	95
		7	3	96	96

1

103	99	99	99
104	99	99	99

1

HS									
UU _{sag} [kV]			Currents [A]			Duration duration		Duration Td duration	
12	23	31	1	2	3	[ms]	[ms]	[ms]	[hh:mm:ss,s]
17	18	21	506	471	74	180	510	130	00:01:15.000
20	20	20	68	57	64	240			
20	20	20	75	70	74	1510			
20	20	20	67	72	73	360	830		
20	20	20	62	60	59	80			
20	20	20	68	64	57	250			
17	19	20	62	69	80	720			
20	20	20	61	59	61	139			
20	20	20	44	47	50	390	830		
20	20	20	44	48	51	360	560		

Inrush	Inrush	Faulted		
UU	UU	Hs	phase	
[%]	[kV]	TD	in earth fault	
89	18	1	1	
0				3
0				3
97	20	1		2
0				2
0				1
0		0	0	
0		0	0	
83	17	1		2
93	19	1		2